



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	目視手法と受動的音響手法を用いた知床半島周辺海域における海棲哺乳類の時空間分布の解明 [全文の要約]
Author(s)	古巻, 史穂
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16078号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93478
Type	doctoral thesis
File Information	FURUMAKI_Shiho_summary.pdf



学位論文内容の要約/Dissertation Summary

博士（環境科学）

氏名/Applicant 古巻 史穂

学位論文題名/Title of Dissertation

目視手法と受動的音響手法を用いた知床半島周辺海域における海棲哺乳類の時空間分布の解明
(Spatial-temporal distribution of marine mammals around Shiretoko Peninsula using sighting survey
and passive acoustic methods)

【1章 緒論】

近年、生態系の保全と人間による持続可能な利用と開発の両立が世界中で広く求められている。そのために生態系を構成する各生物種と周辺環境の相互関係を明らかにし、継続した生態系のモニタリングをすることが重要である。海棲哺乳類は海洋の高次捕食者であり、広範囲の様々な資源を利用するため生態系やその環境の変化の影響を受けると同時に、生態系の機能や構造に影響を与える。そのため海棲哺乳類の生態変化を調べることで、環境変動に生物がどのように反応するか明らかにすることができる。

北海道東部の知床半島周辺海域は、北半球の最南端の季節海水域であること、海洋生態系と陸上生態系の相互関係がみられることなどから、世界自然遺産に登録されている。そのため、科学的知見に基づく海洋生態系の保全と持続的な海洋資源利用の両立が求められている。本海域には季節的にシャチ (*Orcinus orca*) やナガスクジラ (*Balaenoptera physalus*) といった鯨類や、アザラシ類やトド (*Eumetopias jubatus*) などの鰭脚類など、様々な海棲哺乳類が来遊し、観光資源として利用されている。一方で、漁業活動との軋轢や、海水減少などの環境変動による影響が懸念されている。これらの問題を解決するためには、海棲哺乳類の生息地利用の解明や、分布に影響する海洋環境パラメータの解明などを含めた海棲哺乳類のモニタリングが必要である。しかし、継続的なモニタリングが行われている種は、漁業被害をもたらすとして問題になっているトドやゴマフアザラシ (*Phoca largha*) など、一部の種に限られている。

そこで本研究では知床半島周辺海域において、観察される海棲哺乳類各種の時空間分布を明らかにし、分布に影響する要因を把握するために、以下の流れで研究を行った。まず、2章では、広範囲の分布モニタリングを行うために、船舶による目視調査と生息適地モデルによる空間分布と分布環境の把握を行った。3、4章では、半島東西の2地点において受動的音響観測を実施し、分布の時系列変化を把握した。最後に5章において、幅広い種を対象としたモニタリングを行った結果をもとに各手法を評価し、本海域における長期モニタリングの方法や可能性について検討する。

【2章 調査船による目視手法を用いた海棲哺乳類の空間分布の解明】

知床半島周辺の海棲哺乳類の分布情報は、主に観光船による目撃情報や高台からの目視調査によって明らかにされてきたが、空間的な欠損がみられる。また、海棲哺乳類の分布に影響する海洋環境を明らかにすることで、環境変動に影響を受けた分布変化予測や種の保全につなげることができる。船舶を用いた目視調査は広域の空間分布を把握でき、同時に環境データを得ることができる。これをもとに生息適地モデルを使用することで、観測範囲外の分布や分布に影響を与える海洋環境を予測できる。本章では、船舶による目視調査と生息適地モデルを利用し、未観測の海域の海棲哺乳類の分布を把握し、各種の空間分布と先行する海洋環境を明らかにした。

調査船による目視調査は2019、2021-2023年4-9月に行った。同時に、計量魚群探知機による潜在的な餌生物の分布調査を行い、海棲哺乳類の分布場所と航路で音響反応を比較した。生息適地モデルMaxentにより、海棲哺乳類の水平的な分布傾向と環境要因との関係を明らかにした。海棲哺乳類の分布を説明する環境要因として、海表面水温・クロロフィル a 濃度 (Aqua/MODIS, 2019-2023年4-9月のMonthlyデータを平均)、水深 (日本海洋データセンター)、海底傾斜、距岸距離を用いた。空間解析についてはArcGIS 10.7.1 (ESRI 社) を用い、全ての空間解像度を4 kmとした。

ナガスクジラ、ザトウクジラ (*Megaptera novaeangliae*)、ミンククジラ (*Balaenoptera acutorostrata*)、ツチクジラ類 (*Berardius* spp.)、マッコウクジラ (*Physeter macrocephalus*)、シャチ、イシイルカ (*Phocoenoides dalli*)、カマイルカ (*Lagenorhynchus obliquidens*)、ネズミイルカ (*Phocoena phocoena*)、キタオットセイ (*Callorhinus ursinus*)が発見され、種により分布場所は異なっていた。海棲哺乳類の分布場所は航路よりも、潜在的な餌生物の音響反応が大きいと予想していたが差がみられた種は一部に限られた。その原因として、餌生物の分布水深と観測範囲の不一致や目視観測時間と生物の採餌行動時間の不一致などが考えられた。発見種の内、6種の生息適地モデルを作成した。ナガスクジラやミンククジラは半島西部の水深500-1000 m付近が生息適地であった。マッコウクジラやシャチは知床半島周辺が生息適地で、発見報告が多かった根室海峡以外に知床半島東部のウトロ沖も重要な生息地であることは示唆された。イシイルカやカマイルカは知床半島東西のオホーツク海を広くみられ、イシイルカはカマイルカより水深の深い海域が生息適地であった。この結果は、北海道太平洋沿岸の先行研究と一致しており、2種の餌生物の違いによるすみわけのためと考えられた。本章の結果は、観光船による目撃記録などの市民科学データで示されていた分布情報とおおむね一致していた。広域での調査船による目視調査と生息適地モデルを組み合わせることで、ウトロ沖などの未観測地域を含めた空間分布を評価できた。市民科学データのみでは海域全体の分布評価を行うことは難しいことから、今後、調査船による目視調査を定期的に行うことで、相互のデータを補完できるだろう。

【3章 受動的音響手法を用いた羅臼における海棲哺乳類の季節的な分布と海洋環境の関係】

地球規模の気候変動により、海水温上昇や海水減少が引き起こされ、海棲哺乳類の生息域の変化などの影響が懸念されている。これらの変化を明らかにするためには、長期的に海棲哺乳類の分布をモニタリングする必要がある。知床半島周辺海域は冬期の季節海水による船舶の侵入制限や夏期の海霧の発生が目視調査を制限する。このような環境において、海棲哺乳類の長期的な分布モニタリングを行うために水中で海棲哺乳類の出す音を記録する受動的音響手法が利用されている。この

手法はデータが膨大となり、解析作業に時間がかかるという欠点がある。これを解消するために深層学習による自動検出が利用されている。深層学習による検出器の作成には大量の教師データが必要となるが、すでに学習済みのモデルの出力を少数の新しいデータで再学習する転移学習を利用することで効率的な解析が可能となる。本章では転移学習による鳴音自動検出器の作成と精度検証を行った。その後、海棲哺乳類の鳴音の日周、季節性を明らかにし、各種の存在と海氷との関係を把握することを目的とした。

2020年12月から2023年5月に知床半島東部羅臼沿岸において受動的音響モニタリングを行った。先行研究において、種特異的な鳴音が確認されたクラカケアザラシ (*Histriophoca fasciata*)、シャチ、カマイルカの画像データを対象に、深層学習を利用した検出器をもとに転移学習を用いて自動検出を行った。手動のレビューにより誤検出を除き、30分ごとの鳴音の在不在を求めた。その後、鳴音の時系列変化を調べ、根室海峡内の海氷面積と比較した。

本章で作成した検出器は事後の確認が必要なものの、解析に利用することで解析時間を大幅に短縮できた。今後、より高精度化が求められるが、本章で作成したような検出器を利用することは解析の省力化に貢献し、長期モニタリングを容易にすることが期待される。3種の鳴音検出時期は音響手法による先行研究や目視結果と一致しており、このことは海棲哺乳類が継続的に羅臼海域を利用していることを示し、羅臼海域は海棲哺乳類の重要な生息地であることを改めて示している。クラカケアザラシでは、海氷のある2-3月にのみ検出された。また、経年変動を初めて明らかにでき、この変動が海氷の面積変化によること、すなわち、海氷面積が大きい時に鳴音出現が増加する傾向があることを示した。クラカケアザラシは繁殖、換毛期に海氷に上陸する必要があり、本研究からも分布に海氷の存在が重要であることが示された。カマイルカは7-9、12月に散発的な検出があり、10-11月に検出が多かった。カマイルカが羅臼沖で高頻度に確認される10-11月は観光船の営業がなく、分布が把握できていなかった。7-9月は、2章の目視調査では発見できていなかった。短期的に来遊する種は連続的な観測が容易な受動的音響モニタリング手法を活用することにより、短期的な分布を検出可能であることが示された。シャチの鳴音が検出された期間の内、4-8月は観光船の観察記録や音響手法を用いた先行研究と一致していたが、これまでは発見記録が偶発的であった12-2月にも、海氷の少ない時期には頻繁に鳴音が検出された。シャチの鳴音検出は、海氷面積が大きい時に鳴音出現が減少する傾向があることが示された。カマイルカとシャチについて、調査船や観光船による観察努力量が少ない時期においても、受動的音響モニタリングを利用することで海棲哺乳類の分布をより正確に把握できることが示された。本章では、海氷の出現状況が海棲哺乳類の分布に影響を及ぼす可能性が示されたことから、将来的な気候変動の影響を評価するためには、今後も継続したモニタリングが必要であることを指摘した。

【4章 受動的音響手法を用いたウトロにおける夏期の海棲哺乳類の分布】

知床半島西側海域は東側同様に、半島周囲3 kmが世界遺産地域に指定されていることから、出現する海棲哺乳類の種や分布する時期を明らかにすることが必要であるが、東側と比較して海棲哺乳類の分布状況に関する知見は乏しいのが現状である。2章における目視調査による分布モデルからは東側海域と同様にマッコウクジラやシャチの分布確率が高い可能性が示された。また、ストランディングレコードでも海棲哺乳類の漂着が確認されており海棲哺乳類の分布可能性は高い。継続

的に海棲哺乳類の分布情報を収集するためには受動的音響モニタリングが有用である。しかし、音響情報とその音を発する種を結び付けるためには、事前に目視調査などによる種の分布情報や種に対応する音響情報が必要である。また、長期間のデータ解析のために自動検出手法が有用であるが、近年広く使われる教師あり機械学習モデルの開発には事前にラベル付けされた音響データが必要であり、その作成に時間と労力がかかる。種の存在データや音響に関する事前情報は乏しい海域では、事前に正解を与えない教師なし学習の利用可能性がある。本章では、ウトロ海域における受動的音響データを対象にクリックスの自動検出・分類を適用し、出現するハクジラ類を同定し、出現の時間変化を明らかにすることを目的とした。

知床半島西部のウトロ沖で、2021年7-8月に受動的音響モニタリングを行った。得られた録音データの内、ハクジラ類のクリックスを対象に教師なし学習による自動検出・分類を利用して、在不在を調べた。

3種のハクジラ、カマイルカ、マッコウクジラ、シャチのクリックスが確認された。2章の目視調査ではウトロ沖では夏期のカマイルカの分布は観測できなかった。しかし、本章の受動的音響手法により、第3章の観測と同様に夏期の短期的な分布を確認できた。このことは受動的音響手法の有用性を示した。マッコウクジラはノイズ、シャチは他種のクリックスとの分離に課題があったため検出が過大評価されている可能性があるが、両種は1ヶ月間、継続的に確認され、2章で示された生息適地推定の結果と同様に、音響情報からも半島西部が重要な生息地であることが示唆された。本章で利用した手法では、鳴音の検出と分類を完全に行うことはできず、検出できていない時間が存在した。今後は各種のクリックスパラメーターをもとに、種ごとの検出器を作成することで、より高精度の解析が可能となると考えられる。本章で示した3種のハクジラ類の夏期の出現傾向は、3章や先行研究で示した夏期の羅臼沖と種の出現が類似していた。しかし、他の季節の観測はまだ行われていない。半島西部は春期にヒゲクジラ類の分布が多いこと、結氷期は羅臼沖よりも密接した海氷があることを踏まえると他の時期では異なる種の分布が確認される可能性がある。通年の観測を継続することが必要である。

【5章 総合考察】

本研究により、知床半島周辺海域は1年を通して様々な海棲哺乳類が利用する海域であることが改めて示された。世界自然遺産に登録されているのは知床半島周囲3 kmのみであるが、海棲哺乳類はその範囲外の沖合も含めた広範囲を生息地として利用していることが明らかになったことから、海域をシームレスにモニタリングし、保全策を講じる必要があると考えられた。目視調査手法は広域モニタリングに適しているが、季節を通じた多回のモニタリングの実施に課題がある。本研究において示した生息適地推定の結果は、観光船による発見を調べた先行研究の結果と類似していたことから、海棲哺乳類を対象とした観光船の発見データを収集解析し、市民科学を推進することで、より効率的なモニタリングに寄与すると考えられる。また、夏期に来遊するカマイルカのように短期的に来遊する種の分布は観光船による目撃があるものの調査船による目視手法では見逃しがあつた。これらの種の分布把握にも市民科学データが有用である。受動的音響手法は鳴音を発する種の在データに限られるが、海氷期や夜間など、船舶による観測が難しい時期のモニタリングに有用である。3章では、複数年の観測により分布の経年変化を見たところ、冬期の海氷の多寡によ

る分布変化の可能性を明らかにでき、海氷減少はクラカケアザラシには負、シャチには正の影響がある可能性を示した。近年危惧されている海水温上昇や海氷減少による海棲哺乳類の分布変化への影響を把握するためには、今後も継続したデータ取得が望まれる。また、今後は本研究で用いたような自動検出器をより高精度化することにより、モニタリングの省力化が可能となる。ただし、本研究で収集した音響記録には、種不明の音響記録が複数確認されていたことから、今後は種ごとの音響カタログを整備することで、より効率的なモニタリングが可能となると考えられる。以上より、種や季節により有効なモニタリング手法は異なることが改めて示された。本研究で用いたようなマルチスケールのモニタリング手法を適用することで、本海域における海棲哺乳類を含む生態系保全に関わる課題解決に寄与することが期待される。